



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Viabilidad y empleo táctico de radioenlaces IP en enlaces de larga distancia

Autor

Cristina Salvador Isikova

Directores

Director académico: Dr. D. Carlos Sánchez Tapia

Director militar: Cap. D. Brais Lorenzo Seijo

Centro Universitario de la Defensa - Academia General Militar

2019

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mis tutores, el Doctor D. Carlos Sánchez Tapia y el Capitán D. Brais Lorenzo Seijo, que me han guiado desde el primer momento y gracias a su dedicación y disponibilidad han ayudado a dar forma a este trabajo.

En segundo lugar, agradecer a todo el personal de la CIATRANS 16, que en menor o mayor medida se han visto implicados. En concreto, hacer especial mención a la Sección de RBA y la imprescindible colaboración de cada uno de sus componentes, quienes facilitaron ya no sólo el desarrollo del trabajo sino también las prácticas de mando. Y sobre todo, gracias al Brigada D. Marcos Alejandro Domínguez Sánchez por compartir el mando de la sección conmigo, la ayuda proporcionada y las lecciones aprendidas del trabajo diario.

Por último, agradecer a mi familia y amigos, sin quienes nada de esto hubiese sido posible.

Resumen

Los radioenlaces IP y los medios que los utilizan ofrecen una serie de ventajas que han llevado a estudiar en este trabajo su viabilidad como enlaces a larga distancia con un fin táctico. Actualmente, los enlaces que se establecen dentro del Ejército para salvar largas distancias son vía satélite o en banda HF, pero el uso de los radioenlaces IP supone un gran avance y ofrece muchas ventajas en el planeamiento y montaje de los Puestos de Mando, lo que beneficia a las Unidades desplegadas.

En este trabajo se estudia qué es un radioenlace, por qué parámetros se ve afectado (los cuales habrá que tener en cuenta a la hora de establecer el enlace) y se analiza qué ventajas ofrece frente a los medios que se usan hoy en día, lo que provoca que sean más interesantes para su empleo en determinadas situaciones. Además, para confirmar que realmente los radioenlaces IP son útiles y eficaces para las comunicaciones a larga distancia, se realiza una prueba de enlace entre las islas de Gran Canaria y Tenerife, y de esta manera, comprobar su viabilidad.

Abstract

The IP radio links and the devices that use them offer a number of advantages that have led to study in this project their viability as long distance links with a tactical purpose. Currently, the links established in the Army to bridge long distances are via satellite or in HF band, but the use of IP radio links is a great advance and offers many advantages in the planning and assembly of Command Posts, which benefits the Units deployed.

In this project we study what a radio link is, what parameters it is affected by (which must be taken into account when the link has to be established) and analyse what advantages it offers with respect to the means that are currently used by the army, making it more interesting to be used in specific situations. In addition, to confirm that IP radio links are useful and effective for long-distance communications, a linking test is performed between the islands of Gran Canaria and Tenerife, and in this way, their viability is checked.

Lista de abreviaturas, siglas y acrónimos

IP	Protocolo de Internet (<i>Internet Protocol</i>)
PC	Puesto de Mando
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
HF	Alta frecuencia (<i>High-frequency</i>)
UHF	Ultra alta frecuencia
SHF	Súper alta frecuencia
LOS	Línea de visión (<i>Line-of-sight</i>)
FSL	Pérdidas en el espacio libre
SSID	<i>Service Set Identifier</i>
WLAN	Red de área local inalámbrica (<i>Wireless Local Area Network</i>)
LAN	Red de área local (<i>Local Area Network</i>)
AP	Punto de Acceso (<i>Access Point</i>)
OSI	Interconexión de sistemas abiertos (<i>Open Systems Interconnection</i>)
POE	<i>Power over Ethernet</i>

Índice de contenidos

Agradecimientos	III
Resumen/Abstract	V
Lista de abreviaturas, siglas y acrónimos.....	VII
Índice de contenidos.....	IX
Índice de figuras	X
Índice de tablas.....	X
1. Introducción	1
1.1. Objetivo y alcance del trabajo.....	1
1.2. Metodología.....	2
1.3. Estructura de la memoria.....	2
2. Radioenlace.....	3
3. Parámetros a tener en cuenta en un radioenlace.....	6
4. Ventajas e inconvenientes de los radioenlaces IP	8
5. Práctica enlace Gran Canaria - Tenerife.....	9
5.1. Riesgos	10
5.2. Estudio del terreno.....	11
5.3. Configuración de la antena	14
5.4. Prueba de enlace	20
6. Conclusiones y trabajos futuros	22
6.1. Conclusiones generales.....	22
6.2. Líneas futuras de trabajo	23
7. Bibliografía.....	24
ANEXO	25

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama básico de un sistema de comunicaciones.....	3
Figura 2. Diagrama de radiación antena Ubiquiti AG-HP-5G27 [1].....	4
Figura 3. Ancho de haz a -3 dB [2].....	4
Figura 4. Elipsoides de Fresnel entre dos antenas	5
Figura 5. Pérdidas en espacio libre para 2.4 GHz y 5.3 GHz	7
Figura 6. Rocket M5 (izquierda) [4] y antena RD-5G-30 (derecha) [5]	9
Figura 7. Matriz de riesgos inicial.....	10
Figura 8. Matriz de riesgos tras implantar las medidas	11
Figura 9. Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos de Tenerife y Gran Canaria	12
Figura 10. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y la Montaña Birmagen (Tenerife) utilizando una Rocket M5 con antena RD-5G-30.....	13
Figura 11. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y la Montaña Birmagen (Tenerife) utilizando LiteBeam AC Gen 2.....	14
Figura 12. Pestaña MAIN de airOS de la Rocket M5	15
Figura 13. Pestaña WIRELESS de airOS de la Rocket M5	16
Figura 14. Pestaña NETWORK de airOS de la Rocket M5	18
Figura 15. Herramienta 'Encuesta del sitio' de airOS	18
Figura 16. Herramienta 'Detección' de airOS	18
Figura 17. Herramienta 'airView' de airOS	19
Figura 18. Pestaña MAIN airOS de la Rocket M5 durante la prueba de enlace	21
Figura A. 1. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y acuartelamiento de Hoya Fría (Tenerife) utilizando una Rocket M5 con antena RD-5G-30	25
Figura A. 2. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y acuartelamiento de Ingenieros de la Cuesta (Tenerife) utilizando una Rocket M5 con antena RD-5G-30	26
Figura A. 3. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y los Rodeos (Tenerife) utilizando una Rocket M5 con antena RD-5G-30.....	27
Figura A. 4. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y el campo de tiro Las Raíces (Tenerife) utilizando una Rocket M5 con antena RD-5G-30.....	28
Figura A. 5. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y Roque de la Grieta (Tenerife) utilizando una Rocket M5 con antena RD-5G-30	29

Índice de tablas

Tabla 1. Pérdidas en el espacio libre para diferentes frecuencias y distancias	7
Tabla 2. Comparativa antenas Ubiquiti	21
Tabla 3. Comparativa estaciones base Ubiquiti	22

1. Introducción

Los avances tecnológicos han supuesto un gran salto en el ámbito de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), lo que ha permitido obtener medios cada vez con mejores prestaciones. Hace unas décadas estos descubrimientos se producían sobre todo dentro de los Ejércitos ya que las necesidades militares y los largos períodos de guerras daban lugar a adelantos tecnológicos que posteriormente suponían un gran beneficio para la sociedad. Sin embargo, actualmente los conflictos son de baja intensidad y no afectan a la sociedad en su conjunto de forma integral, provocando que la gran cantidad de cambios y avances que se viven hoy en día se produzcan dentro del ámbito civil. Esto se traslada al ámbito militar de una forma más lenta, ya que las exigencias técnicas son diferentes dentro de los Ejércitos, lo que provoca que la industria de defensa se base en la tecnología que se desarrolla fundamentalmente en el sector civil.

Uno de estos avances que se ha producido en el sector civil, pero que ofrece muchas ventajas en el ámbito militar son los radioenlaces IP y los medios que operan con ellos. El gran ancho de banda, la alta velocidad de transmisión, el precio económico, el reducido material necesario, etc. facilitan el planeamiento y el montaje de los Puestos de Mando (PC), y benefician tanto a los operadores que se encargan de su funcionamiento como a los usuarios que explotan estos medios.

A la hora de planificar el sistema de Mando y Control en una operación, despliegue o ejercicio, las unidades de Transmisiones buscan proporcionar el mejor apoyo para que el Mando pueda obtener toda la información necesaria para tomar una adecuada decisión y poder transmitir las órdenes. Para ello es preferible destinar el menor número de recursos posibles, reduciendo así la huella logística y facilitando el montaje de los PC, para que se realice de una forma más rápida dando respuesta a las exigencias operativas del combate. Además, las unidades de transmisiones también buscan obtener enlaces a grandes distancias y con buenas capacidades, que les permita enlazar las distintas Unidades desplegadas en diferentes territorios.

Para lograr todo esto es necesario dotar a las unidades de medios con buenas prestaciones que permitan proporcionar los servicios requeridos de la forma más eficiente. Por esta razón los radioenlaces IP resultan interesantes, ya que las características del enlace en sí y los medios que se utilizan, proporcionan ventajas frente a los enlaces vía satélite o en banda HF que se utilizan hoy en día para realizar comunicaciones a larga distancia.

1.1. Objetivo y alcance del trabajo

El objetivo principal de este trabajo es la realización de un estudio sobre la viabilidad de la utilización de radioenlaces IP a larga distancia, y para ello se marcan tres objetivos parciales:

- El primero, consiste en realizar un estudio teórico sobre qué son los radioenlaces IP, cuáles son sus características y qué parámetros hay que tener en cuenta a la hora de establecer un enlace de este tipo.

- El segundo, se trata de establecer qué ventajas ofrece utilizar los medios que utilizan los radioenlaces IP frente a los que actualmente se están utilizando en las Unidades para realizar enlaces a larga distancia.
- Por último, realizar una prueba de enlace que permita comprobar si es posible establecer un enlace a larga distancia utilizando estos medios y que la capacidad de este enlace es lo suficientemente buena como para poder transmitir información.

La finalidad última de este trabajo es conocer la viabilidad de los radioenlaces IP a larga distancia para así poder utilizarlos a nivel táctico y enlazar diferentes PC desplegados, facilitando un Mando y Control más eficiente.

1.2. Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos en el punto 1.1, el trabajo se divide en dos partes: una teórica y otra práctica.

Por un lado, la parte teórica consiste en recabar información sobre los radioenlaces, ya no solo para definirlos y conocer cuáles son sus características, sino también para saber qué factores les afectan y son necesarios tener en cuenta a la hora de establecer un enlace. Además, en esta parte también se incluye las ventajas que ofrecen este tipo de enlaces, que provocan que los radioenlaces IP sean más interesantes frente a otro tipo de enlaces que se utilizan hoy en día para largas distancias, como son las comunicaciones satélite o en banda HF.

Por otro lado, la parte práctica se basa en el método científico, y por ello se plantea inicialmente una hipótesis para la cual se realiza un experimento para refutar o corroborar lo planteado. En este caso, el experimento consiste en establecer un enlace a larga distancia entre las islas de Gran Canaria y Tenerife utilizando unas antenas comerciales que trabajan en la banda de 5 GHz. Para ello es necesario escoger el tipo de antena que se utilizará en la prueba de enlace entre las que se tienen disponibles, realizar un estudio del terreno para poder elegir la ubicación idónea y conocer cuál es la configuración para establecer el enlace. Con los resultados obtenidos en la prueba de enlace se extraen unas conclusiones, con las cuales se comprueba si la hipótesis planteada es cierta o no.

1.3. Estructura de la memoria

La memoria se organiza en 6 capítulos diferentes. En el presente capítulo, el primero, se realiza una breve explicación de la situación actual, qué objetivos tiene este trabajo y cuál ha sido la metodología utilizada para llevarlo a cabo. En el segundo capítulo, se define que es un radioenlace y cuáles son sus características, viéndose en el tercer capítulo, cuales son los factores que pueden afectarle y que hay que tener en cuenta a la hora de establecer el enlace. En el cuarto capítulo, se analizan las ventajas que ofrece el radioenlace frente a otro tipo de comunicaciones. En el quinto capítulo, se desarrolla la prueba de enlace que se realizó entre las islas de Gran Canaria y Tenerife, explicando cual fue todo el proceso realizado para llevarlo a cabo. Por último, en el sexto capítulo se analizan las conclusiones generales extraídas del trabajo y cuáles son las posibles líneas futuras de trabajo.

2. Radioenlace

Un radioenlace se puede definir como una conexión entre dos puntos mediante ondas electromagnéticas que permite tener una comunicación inalámbrica y poder así transmitir información. Para que esto suceda, en ambos puntos es necesario que haya antenas, las cuales radiarán y/o captarán estas ondas electromagnéticas que se encuentran en el espacio. El funcionamiento de este sistema se basa en transformar ondas eléctricas guiadas generadas por un transmisor, y convertirlas en ondas electromagnéticas libres que serán captadas por un receptor, el cual volverá a convertirlas en ondas eléctricas guiadas (Figura 1).

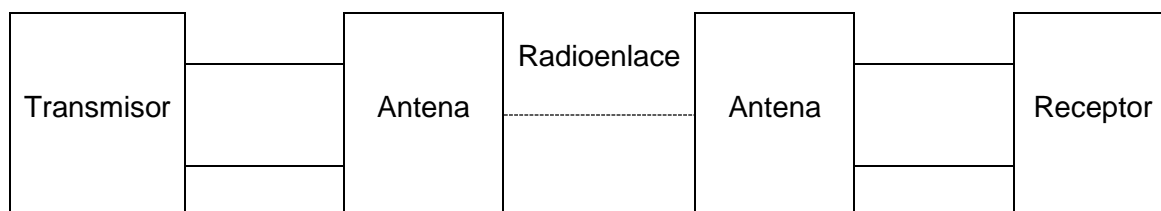


Figura 1. Diagrama básico de un sistema de comunicaciones

Los radioenlaces trabajan dentro del rango de frecuencias del espectro radioeléctrico, en las bandas de UHF (de 0.3 a 3 GHz) y SHF (de 3 a 30 GHz), las cuales están destinadas a las comunicaciones inalámbricas, entre otros. A las ondas electromagnéticas que trabajan en estas bandas se les denominan microondas, las cuales se caracterizan por sus altas frecuencias y por consiguiente, longitudes de onda relativamente cortas.

A mayor frecuencia, mayor es la capacidad para transmitir datos y menor es el tamaño de la antena que se necesita, sin embargo se necesita más energía y su alcance es menor. La elección de la banda de frecuencias¹ no es sólo importante porque puede afectar al alcance del enlace, a la dirección de propagación de la onda y a la cantidad de información que podemos transmitir por unidad de tiempo, sino que existen una serie de frecuencias que están destinadas a un uso específico, requieren licencia o pueden causar interferencias a otros sistemas.

Es importante destacar que una antena no radia del mismo modo en todas las direcciones del espacio, sino que dependiendo de su geometría, tamaño o forma de excitación, es capaz de orientar la energía en unas determinadas direcciones. La capacidad que tiene una antena de concentrar la energía en una determinada dirección se denomina directividad y se puede conocer mediante los diagramas de radiación, donde se representan los campos electromagnéticos radiados por esta, como se puede ver en la Figura 2.

¹ En España, la atribución de las bandas de frecuencias y las características técnicas que se deben cumplir se pueden ver en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

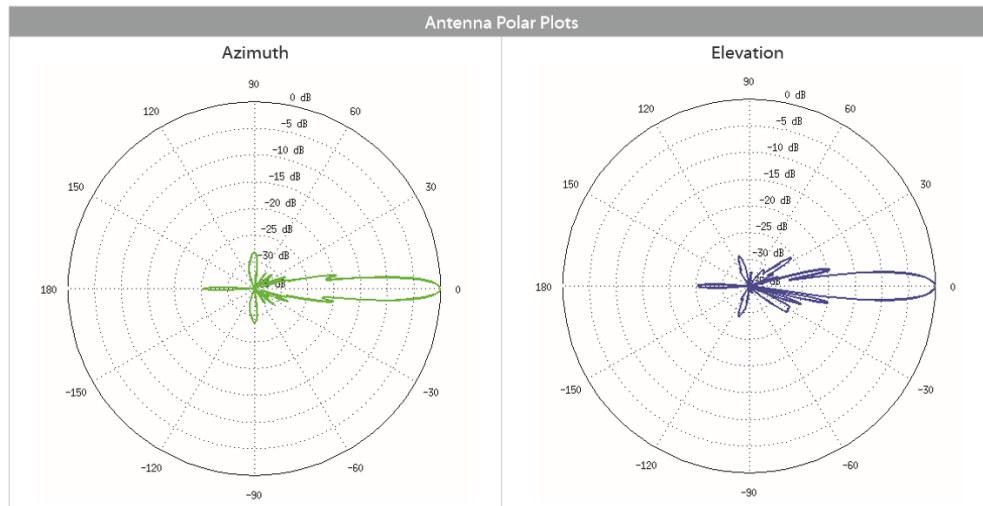


Figura 2. Diagrama de radiación antenna Ubiquiti AG-HP-5G27 [1]

Según la forma del diagrama, las antenas se pueden clasificar en: isotropas, omnidireccionales y directivas. Las primeras radian igual en todas las direcciones, sin embargo, este tipo de antena es ideal (utópica) y se utiliza como referencia para definir los parámetros de las antenas reales. Las antenas omnidireccionales radian de forma isotrópica en uno de los planos, lo que provoca que obtengan un menor alcance. Por último, están las antenas direccionales, las cuales son capaces de concentrar la energía radiada en una sola dirección y consiguen de esta manera que la onda llegue más lejos. Por esta razón, se utilizan antenas muy direccionales para los radioenlaces, ya que nos permiten tener un mayor alcance.

Junto al diagrama de radiación, se definen una serie de parámetros que permiten especificar el comportamiento de una antena. En la Figura 3 se puede observar los lóbulos que se crean, siendo el principal el que contiene la dirección de máxima radiación. El ancho del haz principal a -3 decibelios (dB) se define como la separación angular entre dos puntos A y B (Figura 3) de media potencia (-3 dB) en el lóbulo principal, es decir, es el intervalo angular en el que la densidad de potencia radiada es igual a la mitad de la potencia máxima, en la dirección principal de radiación. Por ejemplo, una antena omnidireccional tendrá un ancho de haz de 360° ya que radia en todas direcciones. En radioenlaces, esta abertura se estrecha aún más, pudiendo conseguir hasta 1° de ancho de haz en antenas de microondas de alta ganancia.

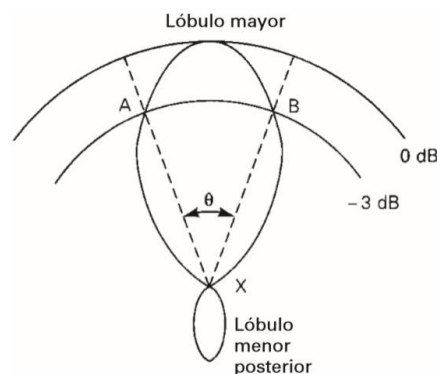


Figura 3. Ancho de haz a -3 dB [2]

Otro aspecto importante a tener en cuenta en un radioenlace es lo que se denomina línea de visión (LOS, *line-of-sight*). Esto significa que las ondas electromagnéticas viajan en línea recta desde la antena transmisora a la receptora, por lo que es necesario que no haya ningún obstáculo en medio que pueda impedir el enlace. Sin embargo, tener una línea recta de visión entre ambas antenas no implica que la calidad del enlace esté garantizada. Debido a la directividad que caracteriza a estas antenas, la mayor parte de la energía transmitida llegará en línea recta al receptor, sin embargo, la antena es incapaz de transmitir toda esta energía en una sola dirección y una parte de ella seguirá un camino diferente donde puede encontrarse con algún obstáculo. Al chocar con una superficie esta señal podría reflejarse, provocando que pueda llegar fuera de fase al receptor y causar una interferencia destructiva².

Esto provoca que para garantizar la calidad del enlace sea necesario tener en cuenta las denominadas Zonas de Fresnel. La teoría establece que entre dos antenas, la señal que envía la antena transmisora no seguirá un único camino en línea recta, sino que algunas de las ondas seguirán caminos alternativos y llegarán al receptor por reflexión. Las zonas que se crean por los caminos que siguen cada una de estas ondas forman una serie de elipsoides, siendo n el número de elipsoides (Figura 4). Para los valores impares de n , los elipsoides contribuirán positivamente a la señal, en cambio, para los valores pares, lo harán negativamente y se producirá una interferencia destructiva. El primer elipsoide de Fresnel es el más importante ya que es en el que se encuentra la mayor parte de la energía, y por esta razón al menos el 60% de esta región tiene que quedar libre de obstáculos para que se pueda producir el enlace.



Figura 4. Elipsoides de Fresnel entre dos antenas³

² Las interferencias pueden ser constructivas o destructivas. Si dos ondas con la misma frecuencia se cruzan en un punto con diferente fase, la interferencia será destructiva y se anulan parcial o totalmente, sin embargo, si llegan con la misma fase se suman y se trata de una interferencia constructiva.

³ <https://eachang.wordpress.com/2016/08/24/zonas-de-fresnel-importancia/>

3. Parámetros a tener en cuenta en un radioenlace

Existen una serie de parámetros a tener en cuenta antes de realizar el enlace para obtener las mayores capacidades que puede ofrecer la antena, además de factores internos y externos que pueden provocar que la señal se atenúe o distorsione conforme avanza a lo largo del espacio. Estas limitaciones pueden producirse por características eléctricas que tiene la propia antena, como puede ser la ganancia o la frecuencia, o limitaciones externas que hay que tener en cuenta como puede ser la distancia o si existe visibilidad entre ambos puntos.

- **GANANCIA.** En el caso de las antenas, la ganancia representa la relación entre la densidad de potencia que produce dicha antena en un punto determinado y la densidad de potencia que produce una antena isotrópica en el mismo punto y en las mismas condiciones. De esta manera, una antena es mejor cuanto mayor es su ganancia, y esta máxima ganancia se producirá en la dirección donde la antena está radiando su mayor potencia.

El valor de la ganancia de una antena se mide en dB, no obstante, se suele comparar con una antena dipolo de media onda o una antena isotrópica. Por esta razón también se utiliza dBd (decibelios con respecto a la antena dipolo de media onda) o dBi (decibelios con respecto a la antena isotrópica), siendo su relación:

$$\text{dBd} = \text{dBi} - 2.14$$

- **POLARIZACIÓN.** La polarización de una antena describe la orientación de los campos electromagnéticos que irradia o recibe la antena, estando definida por la dirección del vector campo eléctrico en relación con la dirección de propagación. En general, las formas más comunes de polarización son: lineales (verticales u horizontales), circulares y elípticas.

Es importante que el acoplamiento entre la onda que genera la antena transmisora y la antena receptora sea perfecto, y por ello es necesario que ambas antenas tengan la misma polarización y se pueda minimizar así la pérdida de ganancia. Por ejemplo, si se tiene una antena transmisora con polarización lineal y en la receptora se tiene polarización circular, se llegan a tener pérdidas de hasta 3 dB.

- **DISTANCIA.** En el momento de establecer un radioenlace, la distancia es un aspecto importante a tener en cuenta, ya que a medida que aumenta, las pérdidas por propagación lo hacen con ella, provocando que la señal llegue al receptor con menor energía y haya perdido calidad.

Por ello, se define las pérdidas en el espacio libre (FSL) como las pérdidas que sufre una onda electromagnética al propagarse en línea recta a través del vacío, sin energías de absorción o reflexión por objetos cercanos. Estas pérdidas dependen de la frecuencia utilizada y aumentan con la distancia, siendo su fórmula:

$$\text{FSL (dB)} = 20 \log_{10}[d \text{ (m)}] + 20 \log_{10}[f \text{ (Hz)}] - 187.5$$

En la Tabla 1 y la Figura 5, se puede observar como con la frecuencia y la distancia, estas pérdidas aumentan.

Frecuencia (MHz) \ Distancia (km)	915	2400	5800
1	92 dB	100 dB	108 dB
10	112 dB	120 dB	128 dB
100	132 dB	140 dB	148 dB

Tabla 1. Pérdidas en el espacio libre para diferentes frecuencias y distancias

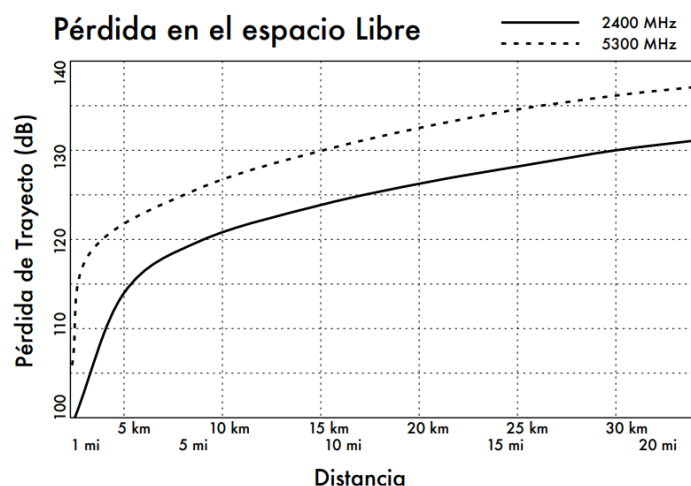


Figura 5. Pérdidas en espacio libre para 2.4 GHz y 5.3 GHz⁴

- **VISIBILIDAD, TERRENO Y ALTURA.** Como se ha explicado antes, una característica de los radioenlaces es que ambos puntos tienen que tener LOS para que puedan transmitirse información. Por ello es necesario tener en cuenta la orografía del terreno a la hora de colocar una antena. Si la distancia entre las dos antenas es pequeña, los obstáculos que nos podemos encontrar pueden ser montañas, árboles o edificios, sin embargo, a medida que aumenta la distancia entre el transmisor y receptor además hay que tener en cuenta otro factor: la curvatura de la tierra. Es importante que ninguno de estos obstáculos se encuentre dentro de la primera zona de Fresnel. Una forma de solucionar las interferencias que causan los obstáculos que se encuentran entre ambas antenas, es colocar la antena a una mayor altura, y subirla lo suficiente hasta asegurarnos que dejamos libre la primera zona de Fresnel.

⁴ http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/07-Presupuesto_de_potencia-es-v1.14-Notes.pdf

4. Ventajas e inconvenientes de los radioenlaces IP

Los radioenlaces IP, frente a otro tipo de enlaces que se utilizan para larga distancia, como pueden ser las comunicaciones vía satélite o en banda HF, presentan una serie de ventajas que los hacen más interesantes para su utilización.

Las antenas que utilizan radioenlaces IP ofrecen un gran ancho de banda y una transmisión de datos a alta velocidad. Por ejemplo, dentro del Ejército de Tierra se utilizan medios de las empresas Harris o Thompson que trabajan en la banda HF, siendo la radio RF-5800H una de las más utilizadas que únicamente proporciona una velocidad de transmisión por debajo de los 10 Kbps. Y, aunque actualmente se estén utilizando cada vez más las radios RF-7800H que ofrecen hasta 120 Kbps, esta velocidad de transmisión sigue siendo mucho menor que la que pueden proporcionar los radioenlaces IP, la cual puede alcanzar los 100 Mbps o hasta los 500 Mbps. Lo mismo sucede con los medios para comunicaciones vía satélite, los cuales tienen una velocidad de transmisión mayor que la de los medios que trabajan en banda HF, pero ésta tampoco supera a la de los radioenlaces IP. La estación satélite ATQH proporciona 3 enlaces simultáneos en IP, pero únicamente de 2 Mbps.

El montaje y transporte de los medios que utilizan los radioenlaces IP resulta mucho más sencillo, ya que se requiere de un menor material para su utilización y además ocupan poco volumen. Además, otro aspecto interesante de los radioenlaces IP es que el uso de la banda de los 5 GHz es libre, por lo que no requiere autorizaciones ni solicitudes para poder utilizar el espectro radioeléctrico, como puede ser el caso de las comunicaciones vía satélite en las que se requieren Solicitudes de Acceso Satélite.

En el caso de no disponer de una infraestructura fija de corriente eléctrica, es necesario utilizar grupos electrógenos, pero la potencia requerida es mucho menor que la que se necesitan para utilizar otros dispositivos. Por ejemplo, en el caso de los dispositivos para radioenlaces IP únicamente se requieren grupos electrógenos de 3.5 kVA, sin embargo para que los dispositivos de comunicaciones vía satélite funcionen se requieren grupos electrógenos como mínimo de 7.5 kVA.

A pesar de que estas antenas que operan en la banda de los 5 GHz ofrecen un buen funcionamiento para largas distancias, presentan más complicaciones a la hora de atravesar algunos obstáculos que frecuencias más bajas. Además, una de las características de los radioenlaces es el requerimiento de que exista LOS entre ambas antenas, lo que provoca que sea necesario conocer la orografía del terreno, la altura de los obstáculos que pueden haber entre los dos extremos del enlace y la ubicación de estos obstáculos, para así elegir el lugar idóneo donde colocar las antenas y asegurar que haya LOS.

Cuando la distancia entre antena transmisora y receptora es muy grande, la curvatura terrestre supone una limitación ya que puede afectar a que haya visión directa entre ambos puntos. A pesar de que esto se puede paliar elevando las antenas a una mayor altura, los mástiles tienen una altura máxima a la cual se pueden elevar, provocando que a mayor altura resulte más difícil asegurar la estabilidad de la antena.

5. Práctica enlace Gran Canaria - Tenerife

El objetivo de esta prueba es conocer la viabilidad de la utilización de radioenlaces IP a larga distancia ya que actualmente no se están utilizando con este fin y esto permitiría obtener otro método de enlace para emplear a nivel táctico con un ancho de banda muy superior al de las comunicaciones en banda HF o vía satélite. De esta manera, se obtendría una conexión táctica que enlazaría las distintas unidades desplegadas, por ejemplo en diferentes territorios de las islas Canarias, sin tener que depender de redes estratégicas y beneficiándose de las ventajas, ya citadas anteriormente, que ofrecen los medios que utilizan radioenlaces IP.

La CIATRANS 16 del BCG BRICAN XVI dispone de radioenlaces IP, pero que no son empleados para enlazar a larga distancia, a pesar de que pueden ser utilizados para ello según su definición y según las especificaciones. Estos medios disponibles son antenas comerciales de la empresa Ubiquiti que trabajan en la banda de los 5 GHz, los cuales son:

- AirGrid M5 HP (AG-HP-5G27) [1]
- LiteBeam AC Gen 2 [3]
- Rocket M5 con antena RD-5G-30 [4] [5]

Haciendo una comparación entre las especificaciones de cada una de ellas, la más idónea resultar ser la Rocket M5 con antena RD-5G-30 (Figura 6) ya que ofrece una mayor potencia y ganancia, lo cual resulta interesante para establecer un enlace a larga distancia. La Rocket M5 trabaja dentro del rango de frecuencias de 5170 MHz a 5875 MHz, con una potencia máxima de salida de 27 dBm y llegando a tener una velocidad de transmisión de 100 Mbps. La antena RD-5G-30 trabaja dentro del rango de frecuencias de 4.9 GHz a 5.8 GHz, con una ganancia máxima de 30 dBi si opera en el rango de 5 GHz a 5.8 GHz.



Figura 6. Rocket M5 (izquierda) [4] y antena RD-5G-30 (derecha) [5]

En concreto, esta combinación ofrece un alcance máximo de aproximadamente 40 km. Sin embargo, a pesar de que esta distancia ya se puede considerar grande, las distancias entre las diferentes islas de Canarias son mayores, llegando aproximadamente a los 100 km. Por ello, es necesario conocer si el alcance máximo de este tipo de antenas realmente es el indicado o si es posible realizar un enlace de mayor distancia.

Ante esta situación, se plantea la siguiente hipótesis: los radioenlaces IP de los que dispone la CIATRANS 16 pueden establecer enlace a una distancia de 95 km. Por esta razón, la prueba de enlace consiste en establecer un radioenlace IP entre las islas de Gran Canaria y Tenerife.

5.1. Riesgos

La realización de la prueba de enlace implica conocer los riesgos, por ello es necesario analizarlos antes de llevar a cabo la práctica. Tras un análisis de cuáles son los posibles problemas o amenazas que habría que asumir, los riesgos son:

- 1) Denegación de la solicitud de utilización del terreno para la prueba de enlace, en el caso de que se realice en un Espacio Natural.
- 2) Condiciones meteorológicas desfavorables o adversas que impiden el establecimiento del enlace.
- 3) Inexistencia de una infraestructura fija que proporcione corriente eléctrica.
- 4) Fallo de la antena (Rocket M5 con RD-5G-30 en este caso).

La Figura 7 muestra la matriz de riesgos, donde cada riesgo mencionado se clasifica según la probabilidad de que suceda (1, 2, 3) o el impacto que tiene (alto, medio, bajo). La probabilidad de que suceda cada uno de ellos es diferente, sin embargo todos ellos tienen un impacto alto ya que tendrían el mismo efecto: la imposibilidad de establecer el enlace. A partir de esto se extrae que el riesgo más alto es la inexistencia de una infraestructura fija que proporcione corriente eléctrica, por ello es el riesgo que hay que tener más en cuenta.

Matriz de riesgos					Clase riesgo	Número
Probabilidad	3	0	0	1	Alto (rojo)	1
	2	0	0	2	Alto - medio (naranja)	2
	1	0	0	1	Medio (amarillo)	1
		Bajo	Medio	Alto	Bajo (verde)	0
			Impacto		Total:	4

Figura 7. Matriz de riesgos inicial

Sin embargo, la probabilidad y el impacto de cada uno de ellos pueden ser reducidos mediante diferentes medidas. A continuación se exponen las soluciones en orden con cada riesgo mencionado anteriormente:

- 1) Búsqueda de otro punto, preferiblemente fuera de espacios naturales, desde el cual exista LOS.
- 2) Realización de la prueba de enlace otro día con unas condiciones meteorológicas mejores.
- 3) Empleo de grupos electrógenos.
- 4) Utilización otro tipo de antena, en concreto la LiteBeam AC Gen 2 que tiene una menor potencia de salida (25 dBm) y ganancia (23 dBi).

Estas medidas provocan un cambio en la matriz de riesgos y la clasificación de éstos, quedando como se observa en la Figura 8.

Matriz de riesgos					Clase riesgo	Número
Probabilidad	3	0	0	0	Alto (rojo)	0
	2	0	0	1	Alto - medio (naranja)	1
	1	1	1	1	Medio (amarillo)	2
		Bajo	Medio	Alto	Bajo (verde)	1
		Impacto			Total:	4

Figura 8. Matriz de riesgos tras implantar las medidas

Estos riesgos no son solo aplicables a la prueba de enlace, sino que algunos de ellos también pueden aparecer en el caso de que se utilicen en el montaje de un PC.

5.2. Estudio del terreno

Uno de los aspectos más importantes que hay que tener en cuenta es el lugar donde se colocarán ambas antenas. Es por ello, que es necesario escoger un sitio con suficiente altura para poder despreciar la curvatura terrestre y que no actúe como un obstáculo en el enlace, además de que no haya ningún otro obstáculo, como pueden ser edificios o bosques.

Además, debido a la naturaleza de este trabajo y que la prueba se realiza por personal militar, hay que tener en cuenta también si es necesario tener autorización para poder colocar las antenas en el lugar escogido. Por esta razón, se buscarán zonas militares ya que, por un lado, se facilita así su utilización a la hora de solicitar una autorización y, por otro lado, esta prueba puede servir como base para ejercicios y maniobras futuras que requieran enlazar ambas islas y que, con gran probabilidad, las posiciones se encuentren en zonas militares o cerca de ellas.

La Ley 4/2017, de 13 de julio, del Suelo y de los Espacios Naturales Protegidos de Canarias [6], contempla los posibles usos que se pueden realizar en una Espacio Natural y los divide en permitidos, prohibidos y autorizables, según si son compatibles con los objetivos de protección de cada espacio natural, si suponen una amenaza o puedan ser tolerados en determinadas circunstancias. En la Figura 9 se puede observar las zonas de cada isla que son Espacios Naturales, por lo que se tendrá que tener en cuenta a la hora de escoger la ubicación para colocar la antena.



Figura 9. Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos de Tenerife y Gran Canaria⁵

Por lo que respecta a la isla de Gran Canaria, los lugares estudiados donde se podría colocar la antena son:

- Pico de Las Nieves
 - Coordenadas: 27.57°N 15.34°W
 - Altura: 1945 m.
- Faro
 - Coordenadas: 28.17° N 15.42°W
 - Altura: 240 m.
- La Colorada
 - Coordenadas: 28.10°N 15.25°W
 - Altura: 238 m.

Debido a la cercanía a la Base General Alemán Ramírez, donde se encuentra la BRICAN XVI, las posiciones más idóneas se encuentran dentro de la Isleta: Faro y La Colorada. Ambas son montañas de más de 200 metros, que proporcionan la altura suficiente para poder realizar el enlace. Sin embargo, la ubicación del Faro resultaría interesante si la antena se colocase sobre un vehículo, ya que debido al terreno y las complicaciones que presenta éste, no se puede colocar un mástil. Por esta razón, la antena que se ubicará en Gran Canaria se colocará en La Colorada.

Por lo que respecta a la isla de Tenerife, los lugares estudiados se especifican en el Anexo, junto al estudio realizado con cada uno. Para realizar este estudio se ha empleado el programa airLink de Ubiquiti (<https://link.ui.com>), el cual permite escoger el tipo de antena que vamos a utilizar e introducir los parámetros con los que se configurará (potencia de salida, altura sobre el suelo, ancho de haz, etc.), además de las coordenadas de las posiciones de las antenas. Con toda esta información se obtiene la calidad y la capacidad de la señal, las zonas de Fresnel y la velocidad de transmisión, y así saber si se puede dar el enlace.

⁵ <https://visor.grafcan.es/visorweb/#>

Como se observa en la Figura 10, el programa permite escoger el tipo de antena que se utilizará (Rocket M5), las coordenadas de las posiciones donde se colocarán las antenas del enlace punto a punto, la altura sobre el terreno a la cual se encontrará la antena (3 m.), la potencia de salida (27 dBm, ya que es la máxima que nos ofrece esta antena), el ancho del canal (20 MHz) y el ancho de haz (3°, ya que es el más pequeño y nos ofrecerá mayor directividad).

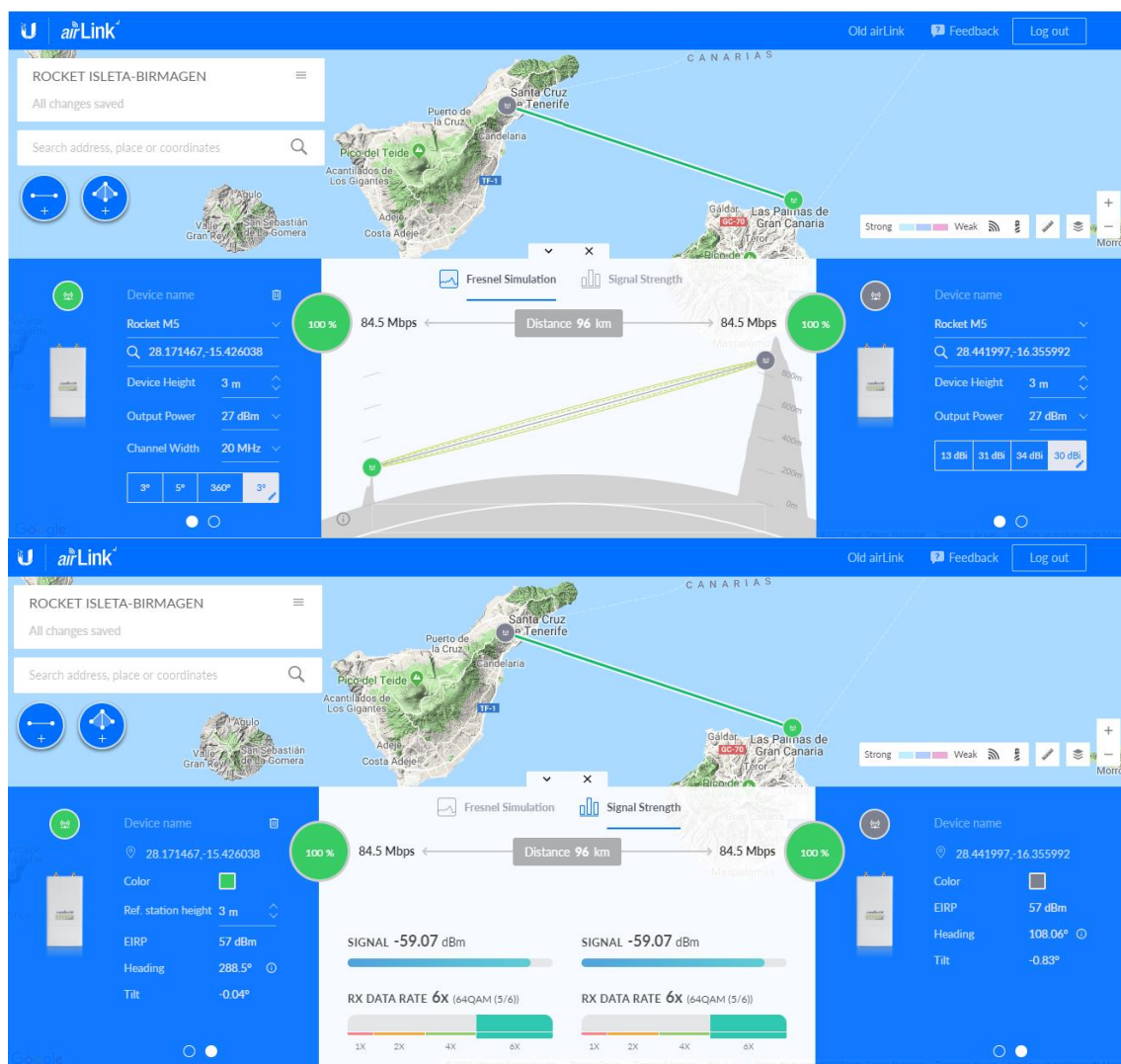


Figura 10. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y la Montaña Birmagen (Tenerife) utilizando una Rocket M5 con antena RD-5G-30

A partir de estos parámetros, se obtiene que el enlace sería viable y se encontraría al 100% de sus capacidades, ofreciéndonos una velocidad de 84.5 Mbps y una señal de -59 dBm. Debido a esto y a la visibilidad con La Colorada y con otras zonas militares dentro de la isla de Tenerife como pueden ser Los Rodeos o Las Raíces, el lugar escogido es la Montaña Birmagen. Además, a pesar de que este punto se encuentra en territorio civil, no se requiere una autorización ya que no está situado en un Espacio Natural.

En el caso de que fuese necesario utilizar la antena LiteBeam AC Gen2 ya que la Rocket M5 no funcionase (visto en el apartado 5.1 como posible riesgo), el programa airLink indica que también se podría establecer enlace entre ambos puntos aunque estaría al 45% de sus capacidades, su velocidad de transmisión sería de 55 Mbps y la señal de -75 dBm (Figura 11).

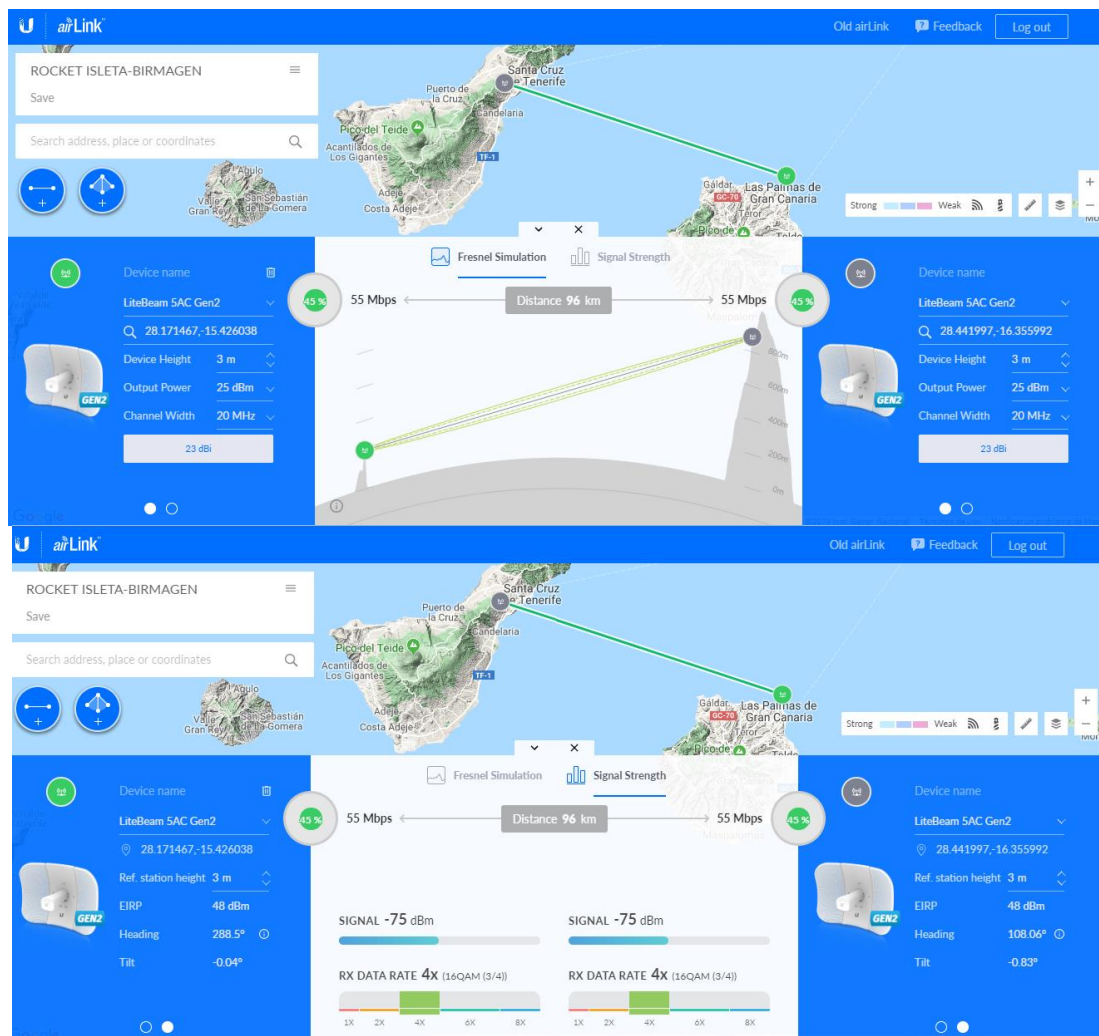


Figura 11. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y la Montaña Birmagen (Tenerife) utilizando LiteBeam AC Gen 2

5.3. Configuración de la antena

Para realizar la configuración de la antena, primero se modifica la dirección IP del ordenador que se va a utilizar, con una dirección IP estática del tipo 192.168.1.x y máscara de red 255.255.255.0. Tras esto, se accede a la antena introduciendo los parámetros que tiene por defecto:

- Dirección IP: 192.168.1.20
- Usuario: ubnt
- Contraseña: ubnt

Dentro de la interfaz de configuración airOS⁶ de la antena (sistema operativo de la Rocket M5) hay una serie de pestañas en la parte superior, dentro de las cuales se pueden observar o cambiar los parámetros de la antena. A continuación se explican los parámetros básicos para poder configurar las antenas y realizar la prueba de enlace, sin embargo es posible modificar muchos más parámetros en estos dispositivos, los cuales se explican en el manual de usuario de airOS 5 de Ubiquiti [7].

- **MAIN:** ofrece un resumen de la información del estado del enlace, de los valores básicos de la configuración y gráficos del tráfico de datos (Figura 12). En concreto, los parámetros que resultan más interesantes de observar son:
 - **NOISE FLOOR:** valor (en dBm) del ruido que puede provocar interferencias en el enlace con la frecuencia que se está utilizando. El ruido será menor, cuanto más alejado de 0 esté el valor.
 - **TRANSMIT CCQ:** porcentaje que evalúa la calidad de la conexión inalámbrica del cliente (*Client Connection Quality, CCQ*).
 - **airMAX⁷:** si se encuentra activado, únicamente enlazará con otros dispositivos airMAX y se podrá observar si realmente se está produciendo el enlace, incluido cuál es su calidad (*airMAX Quality*) y capacidad (*airMAX Capacity*).

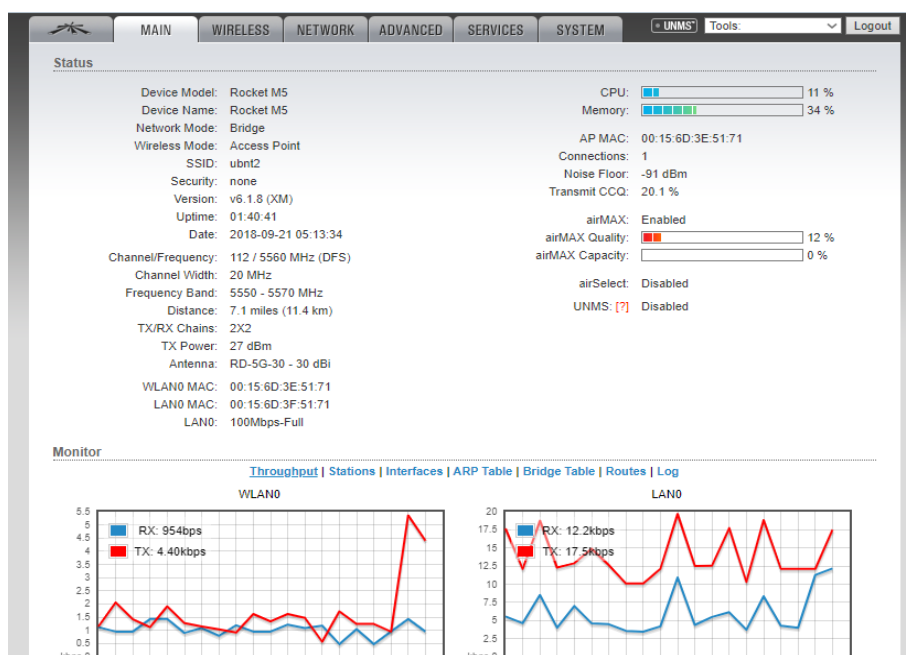


Figura 12. Pestaña MAIN de airOS de la Rocket M5

⁶ Version 5.6

⁷ Se basa en el protocolo TDMA (*Time Division Multiple Access* o Acceso Múltiple por División de Tiempo), el cual asigna tiempo dinámicamente a los clientes activos y proporciona una mayor inmunidad frente al ruido.

- **WIRELESS:** permite configurar los parámetros relacionados con la parte inalámbrica del enlace (Figura 13).
 - **WIRELESS MODE:** una de las antenas se configura como Punto de Acceso (*Access Point, AP*) y la otra como Estación (*Station*)⁸. También existe la opción de configurarlo como Repetidor (*AP-Repeater*) en el caso de que se tengan varios Puntos de Acceso, sin embargo este no es el caso en la prueba de enlace.
 - **SSID (*Service Set Identifier*):** nombre de la red inalámbrica que permite identificar la WLAN.
 - **CHANNEL WIDTH:** el ancho del canal controla la cantidad de información que puede transmitirse. De esta manera, un canal ancho permite transmitir más datos, sin embargo, sufrirá más interferencias y puede interferir con otros dispositivos. Este ancho de canal puede ser escogido de forma automática por la antena o, se puede asignar de forma manual (para la prueba de enlace se asigna un ancho de canal de 20 MHz).
 - **FREQUENCY (MHz):** la frecuencia, como el ancho del canal, también puede ser escogida de forma automática o asignada de forma manual, en este caso, para elegir la que resulte más óptima.
 - **ANTENNA:** se escoge el tipo de antena que vamos a utilizar. Para la prueba de enlace se utiliza una antena RD-5G-30 (2x2).
 - **OUTPUT POWER:** permite modificar la potencia de salida (en dBm), la cual será máxima para la prueba de enlace debido a la gran distancia a la que se va a realizar.

The screenshot displays the 'airOS' web interface for the 'Rocket M5' device. The 'WIRELESS' tab is selected in the top navigation bar. The 'Basic Wireless Settings' section is active, showing the following configurations: Wireless Mode is set to 'Access Point'; WDS (Transparent Bridge Mode) is disabled; SSID is 'ubnt2'; Country Code is 'Spain'; IEEE 802.11 Mode is 'A/N mixed'; Channel Width is '20 MHz'; Frequency is '5560 (DFS)'; and the selected Antenna is 'RD-5G-30 (2x2) - 30 dBi'. The Output Power is set to 27 dBm. The 'Wireless Security' section below shows Security set to 'none'. A 'Change' button is located at the bottom right of the settings area.

Figura 13. Pestaña WIRELESS de airOS de la Rocket M5

⁸ Las antenas Estación enlazan siempre con una que actúa como AP, la cual se encarga de crear una red de área local inalámbrica (*Wireless Local Area Network, WLAN*).

- **SECURITY:** permite implementar un protocolo de seguridad a la red inalámbrica para encriptar la información que se envía y que solo los usuarios permitidos se conecten a esta red. En la antenna que actúa como AP se configuran los ajustes de seguridad de la red inalámbrica y en la antenna que actúa como Estación se introduce la configuración del AP con el que se asocia. Las opciones son:
 - **NONE:** no se configura ningún protocolo de seguridad. Aun así, es posible utilizar las opciones de *RADIUS MAC Authentication* y *MAC ACL* para reconocer qué usuarios son los permitidos mediante la dirección MAC de los dispositivos.
 - **WEP:** únicamente se puede utilizar cuando el dispositivo se configura como Repetidor, sin embargo este protocolo de seguridad presenta vulnerabilidades, por lo que es inseguro y puede comprometer la red.
 - **WPA-AES / WPA2-AES⁹:** tienen los mismos parámetros de configuración, sin embargo WPA2 es más seguro y cubre las vulnerabilidades que tiene WPA. A pesar de esto, no todos los dispositivos soportan WPA2 ya que requiere una mayor potencia de procesamiento y puede afectar a la velocidad de transmisión, por lo que la elección depende del dispositivo y si la seguridad es una prioridad (en nuestro caso, la seguridad siempre será primordial).
- **NETWORK:** permite configurar los parámetros de la red (Figura 14).
 - **NETWORK MODE:** la antenna se configura como Bridge (Puente), ya que la prueba de enlace se realizará en una misma red por lo que no se requiere que las antenas efectúen ningún enrutamiento. De esta manera, actúa como un puente transparente que trabaja en la capa 2 (modelo OSI) y reenvía todos los paquetes y datos de la red de una interfaz a otra. Esto provoca que únicamente tenga una dirección IP para poder configurar la antenna, ya que WLAN y LAN pertenecen a la misma red.

En el caso de que la antenna esté enlazando dos redes diferentes (WLAN y LAN), se configurará como Router. En este caso, la antenna trabaja en la Capa 3 (modelo OSI) y realizará funciones de enrutamiento, por lo que cada interfaz tendrá una dirección IP.

 - **MANAGEMENT IP ADDRESS:** indica cómo se asigna la dirección IP a la antenna, si se realiza mediante un servidor DHCP¹⁰ o de manera estática. Para la prueba de enlace se asigna la dirección IP (*IP Address*), la máscara de red (*Netmask*) y la puerta de enlace (*Gateway IP*, que normalmente es la dirección IP del router que se conecta a Internet).

⁹ Estándar de cifrado avanzado (*Advanced Encryption Standard*)

¹⁰ Servidor que asigna automáticamente las direcciones IP a cada dispositivo de la red.

Figura 14. Pestaña NETWORK de airOS de la Rocket M5

- **TOOLS (Herramientas):** existen una serie de herramientas que ayudan en la configuración y el control de la red, e incluso en su montaje (*Alinear la antena* nos permite mejorar el apuntamiento para encontrar la dirección de máxima señal).
 - **SITE SURVEY (Encuesta del sitio):** busca redes inalámbricas en el rango de frecuencias utilizado, y da información de cada una de ellas: dirección MAC, SSID, nombre del dispositivo, etc. (Figura 15)

Encuesta del sitio

Frecuencias escaneadas:

5.325GHz 5.33GHz 5.50GHz 5.505GHz 5.51GHz 5.515GHz 5.52GHz 5.525GHz 5.53GHz 5.535GHz 5.54GHz 5.545GHz 5.55GHz 5.555GHz 5.56GHz 5.565GHz 5.57GHz 5.575GHz 5.58GHz 5.585GHz 5.59GHz 5.595GHz 5.60GHz 5.605GHz 5.61GHz 5.615GHz 5.62GHz 5.625GHz 5.63GHz 5.635GHz 5.64GHz 5.645GHz 5.65GHz 5.655GHz 5.66GHz 5.665GHz 5.67GHz 5.675GHz 5.68GHz 5.685GHz 5.69GHz 5.695GHz 5.70GHz 5.74GHz 5.745GHz 5.75GHz 5.755GHz 5.76GHz 5.765GHz 5.77GHz 5.775GHz 5.78GHz 5.785GHz 5.79GHz 5.795GHz 5.80GHz 5.805GHz 5.81GHz 5.815GHz 5.82GHz 5.825GHz 5.83GHz 5.835GHz 5.84GHz 5.845GHz 5.85GHz 5.855GHz 5.86GHz

Dirección MAC	SSID	Nombre de dispositivo	Modo radio	Cifrado	Señal / Ruido, dBm	Frecuencia, GHz / Canal
00:15:6D:3E:5E:EB	ubnt2	Rocket M5	802.11n	NONE	-36 / -93	5.86 / 172

Escanear

Figura 15. Herramienta 'Encuesta del sitio' de airOS

- **DISCOVERY (Detección):** busca dispositivos de la misma red y proporciona información de ellos: dirección MAC, nombre del dispositivo, modo estación o punto de acceso, SSID, etc. (Figura 16)

Detección de dispositivos

Buscar:

Dirección MAC	Nombre de dispositivo	Modo	SSID	Producto	Firmware	Dirección IP
00:15:6D:3E:51:71	Rocket M5	STA	ubnt2	Rocket M5	v6.1.8	192.168.1.22
00:15:6D:3E:5E:EB	Rocket M5	AP	ubnt2	Rocket M5	v6.1.8	192.168.1.23

Mostrando entradas 1 to 2 of 2

Escanear

Figura 16. Herramienta 'Detección' de airOS

- airView¹¹: analiza el ruido ambiental, lo cual permite conocer cuál es la frecuencia y el canal con menor saturación e interferencias. Esta herramienta consta de tres gráficas diferentes que proporcionan información del espectro radioeléctrico utilizado (Figura 17).
 - La gráfica superior (de cascada) se basa en la variable tiempo, y muestra la energía agregada o el uso del canal para cada frecuencia durante el tiempo que airView ha estado utilizándose. Los colores fríos (azul como nivel más frío) representan los niveles más bajos de energía.
 - La gráfica del medio (de forma de onda) también se basa en la variable tiempo, y en este caso se muestra el ruido ambiental durante el tiempo que esta herramienta se ha estado utilizando. También, como en la gráfica de cascada, los colores fríos (azul como nivel más bajo) representan niveles de energía más bajos en ese rango de frecuencia.
 - La gráfica inferior (en tiempo real) muestra el nivel de energía (en dBm) en función de la frecuencia. Se representan los máximos niveles de energía para cada frecuencia que se ha captado mientras funciona la herramienta de airView, así como el promedio de energía captada y por último, la energía recibida en tiempo real.

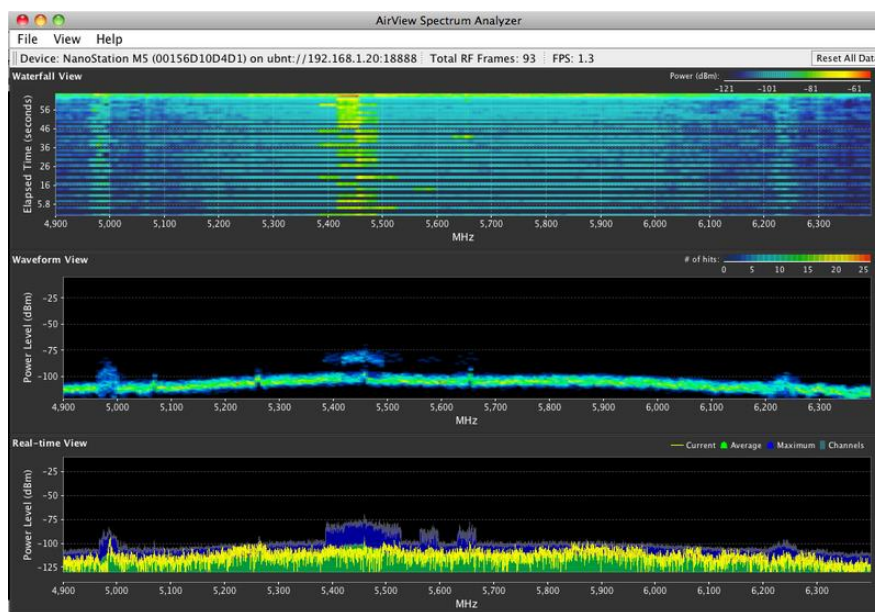


Figura 17. Herramienta 'airView' de airOS

¹¹ Se requiere disponer de Java Runtime Environment 1.6 (o superior) en el ordenador que se utilice la herramienta airView.

5.4. Prueba de enlace

El 24 de Septiembre se realizó la prueba de enlace y las condiciones meteorológicas en cada posición fueron las siguientes:

- ♦ La Colorada, la Isleta (Gran Canaria): 24°C, 64% de humedad, viento 40 km/h
- ♦ Montaña Birmagen (Tenerife): 18°C, 66% de humedad, viento 26 km/h

Para realizar la prueba de enlace fue necesario el siguiente material:

- 2 Rocket M5 con antena RD5G30
- 4 cables Ethernet
- 2 POE
- 2 ordenadores
- 2 mástiles
- 2 grupos electrógenos, ya que no se disponía de una infraestructura cercana que ofreciese corriente eléctrica

El montaje de la antena se debe realizar sobre una infraestructura que ofrezca estabilidad, para que la antena no se mueva y se pueda obtener un buen enlace. Las posiciones escogidas para realizar la prueba no tienen ningún edificio o torre de telecomunicaciones cerca en la que se pueda anclar la antena, por esta razón es necesaria la utilización de mástiles.

El viento en ambas ubicaciones y la inexistencia de un abrigo que permitiese proteger las antenas, dificultó su colocación y apuntamiento, provocando que las antenas fuesen muy sensibles al viento y se moviesen con facilidad. La importancia que tiene la existencia de LOS en los radioenlaces, sobretodo tratándose de un enlace a larga distancia, provoca que el apuntamiento sea fundamental ya que una pequeña desviación de 1º puede llegar a provocar que la señal se desvíe decenas o cientos de metros y que el enlace finalmente no se produzca.

Como se puede ver en la Figura 10, la aplicación airLink de Ubiquiti indica cual es el rumbo y la inclinación de ambas antenas, lo que permite conocer hacia qué dirección se tiene que apuntar en un primer momento. Sin embargo, también es necesario realizar un barrido en el sentido horizontal y vertical de la antena, para así encontrar la dirección donde la señal tiene su máxima intensidad. El barrido debe realizarse lentamente, ya que un pequeño cambio puede provocar que se produzca o no el enlace, y además, así el software tiene tiempo para actualizar los valores.

La configuración de la antena se realizó con los parámetros ya explicados, los cuales se pueden observar en las Figuras 13 y 14. Con todo esto, el enlace se estableció entre ambas antenas, sin embargo se caracterizó por tener unos valores muy bajos donde la calidad y la capacidad se encontraban entre el 0 y el 10%, lo cual no permite que la información sea transmitida. A pesar de ello, y como se puede observar en la Figura 18, durante un corto periodo de tiempo (un minuto aproximadamente) se logró enlazar ambas antenas obteniendo una calidad del 53% y una capacidad del 67%, con un ruido de -91 dBm.

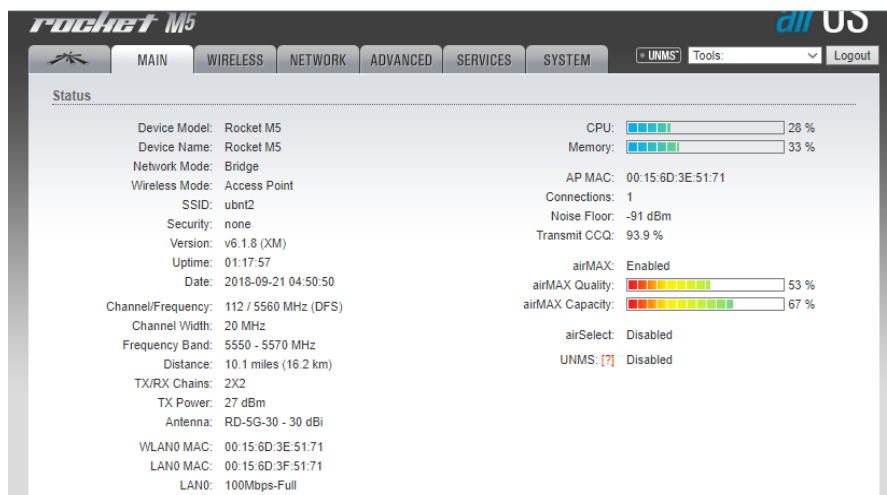


Figura 18. Pestaña MAIN airOS de la Rocket M5 durante la prueba de enlace¹²

La obtención de estos resultados, aunque únicamente se produjesen durante un corto periodo de tiempo, muestran la posibilidad de lograr un radioenlace IP a larga distancia con unas características suficientemente buenas de calidad y capacidad como para poder transmitir información utilizando este método.

Sin embargo, es necesario asegurar que se obtendrán estos valores y que se mantendrán durante todo el periodo de tiempo que se utilicen las antenas. Esto es posible lograrlo mediante un cambio de antena o estación base por otros con unas mejores especificaciones, lo cual permite conseguir un mejor enlace a larga distancia y transmitir la información rápidamente. Por un lado, se podría utilizar una antena diferente que proporcionase una mayor ganancia que la utilizada en la prueba de enlace, la cual tiene 30 dBi. En la Tabla 2 se puede observar una comparativa entre la antena utilizada y otras antenas de Ubiquiti, que tienen una mayor ganancia y que son compatibles con la estación base Rocket M5. Por ejemplo, la combinación de la antena RD-5G-34 con la Rocket M5 ofrecería una distancia máxima (teórica¹³) de aproximadamente 70 km.

Tipo de antena	RD-5G-30	RD-5G-31 AC [8]	RD-5G-34 [5]	AF-5G-34-S45 [9]
Ganancia	30 dBi	31 dBi	34 dBi	34 dBi
Precio SENETIC¹⁴	128 €	323 €	284 €	230 €

Tabla 2. Comparativa antenas Ubiquiti

¹² El sistema operativo airOS no calculó bien la distancia, y a pesar de que en la imagen se observe que son 16.2km, la distancia real era de 96km.

¹³ Teórica ya que en el caso de la antena RD-5G-30 junto a la Rocket M5 tiene una distancia máxima de 40 km. y sin embargo la prueba de enlace ha demostrado que es capaz de enlazar a una distancia mayor.

¹⁴ <https://www.senetec.es>

Por otro lado, también sería posible cambiar la estación base por una que ofreciese unas mejores prestaciones, como por ejemplo una mayor velocidad de transmisión o que aumentase la distancia máxima de alcance. En la tabla 3 se puede observar la comparativa entre la estación base utilizada (Rocket M5) y otras de Ubiquiti, las cuales son compatibles con la antena RD-5G-30¹⁵.

Tipo de estación base	ROCKET M5	R5-AC-LITE [10]	AF-5X [11]	AF-5X HD [12]
Velocidad de transmisión	150+ Mbps	500+ Mbps	500+ Mbps	1+ Gbps
Distancia máxima			300 km	100 km
Precio SENETIC¹¹	82 €	127 €	378 €	400 €

Tabla 3. Comparativa estaciones base Ubiquiti

6. Conclusiones y trabajos futuros

6.1. Conclusiones generales

El éxito de la prueba para establecer un enlace entre las islas de Gran Canaria y Tenerife, con una distancia de 96 km, confirma la hipótesis planteada inicialmente: es posible establecer un enlace a una distancia de 95 km utilizando medios que trabajan con radioenlaces IP. A pesar de los inconvenientes encontrados durante la realización de la prueba de enlace que provocaron que únicamente se obtuviese una buena calidad y capacidad del enlace durante un corto periodo de tiempo (debido en su mayor medida al viento), muestra que estos medios son capaces de enlazar a distancias aún mayores que las que indican sus especificaciones y aun así, obtener un canal fiable por el cual transmitir información. Sin embargo, es importante asegurar y mantener un buen enlace que ofrezca sus mejores capacidades, por lo que también se plantean algunas soluciones, como la utilización de otras antenas o estaciones base que ofrezcan unas mejores prestaciones (ganancia, velocidad de transmisión, etc.).

Los radioenlaces IP resultan interesantes también en el ámbito militar debido a todas las ventajas que ofrecen. Por un lado, su fácil montaje y transporte o el requerimiento de grupos electrógenos con una menor potencia permite que este tipo de medios tengan una menor exigencia logística. Por otro lado, la red creada proporciona un canal de comunicación entre varios puntos con un gran ancho de banda y una velocidad de transmisión mayores a los medios que se utilizan hoy en día. Además, el éxito de la prueba de enlace indica la posibilidad de enlazar varias unidades desplegadas en una zona de gran extensión (siempre y cuando exista LOS entre ellos).

Todo ello supone un gran avance ya que son muchas las ventajas de las que se beneficiarían las unidades, permitiendo que el planeamiento y montaje de los PC se mejorase gracias a las características técnicas que ofrecen los radioenlaces IP y los medios que los utilizan.

¹⁵ Para poder utilizar la antena RD-5G-30 con airFiber (AF) es necesario utilizar el kit de conversión AF-5G-OMT-S45

6.2. Líneas futuras de trabajo

Los medios que conforman las TIC dentro del Ejército requieren tener un adecuado nivel de protección e implementar una serie de medidas de seguridad para que la información tratada no se vea perjudicada. Por esta razón es necesario que estos sistemas estén acreditados por el Centro Criptológico Nacional y cumplir una serie de requisitos [13]. Sin embargo, actualmente los radioenlaces IP no tienen esta Acreditación ni se utiliza ningún cifrador, por lo que un posible estudio futuro podría basarse en analizar la seguridad de los radioenlaces y cómo se podría securizar la información tratada, ya sea implementando el software necesario en los dispositivos utilizados para cumplir con los requisitos o utilizando un cifrador militar, como los EP-430.

7. Bibliografía

- [1] «AirGrid® M Datasheet, Ubiquiti Networks,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/airgridm/airGrid_HP.pdf.
- [2] W. Tomasi, Sistemas de comunicaciones electrónicas, 4 ed., Pearson Educación, 2003, p. 976.
- [3] «LiteBeam AC Gen2 Datasheet, Ubiquiti Networks,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/LiteBeam/LiteBeam_AC_Gen2_DS.pdf.
- [4] «Rocket™ M Datasheet, Ubiquiti Networks,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/rocketm/RocketM_DS.pdf.
- [5] «RocketDish™ Datasheet, Ubiquiti Networks,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd_ds_web.pdf.
- [6] Boletín Oficial del Estado, «Ley 4/2017, de 13 de julio, del Suelo y de los Espacios Naturales Protegidos de Canarias,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es-cn/l/2017/07/13/4/dof/spa/pdf>.
- [7] «airOS 5 User Guide, Ubiquiti Networks,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/guides/airOS/airOS_UG.pdf.
- [8] «RocketDish™ AC Datasheet, Ubiquiti Networks,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish_ac/RocketDish_RD-5G31-AC_DS.pdf.
- [9] «AirFiber® X Antenna Datasheet, Ubiquiti Networks,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_Antennas_DS.pdf.
- [10] «Rocket® AC Datasheet, Ubiquiti Networks,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/RocketAC/Rocket5ac_DS.pdf.
- [11] «AirFiber® X Datasheet, Ubiquiti Networks,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_X_DS.pdf.
- [12] «AirFiber® 5X HD Datasheet, Ubiquiti Networks,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_5XHD_DS.pdf.
- [13] «Procedimiento de seguridad de las TIC, CCN-STIC 101, Centro Criptológico Nacional,» [En línea]. Available: <https://www.ccn-cert.cni.es/series-ccn-stic/guias-de-acceso-publico-ccn-stic/8-ccn-stic-101-procedimiento-de-acreditacion-nacional/file.html>.
- [14] J. A. Carballar, Wi-Fi. Instalación, seguridad y aplicaciones, RA-MA Editorial, 2007.
- [15] AGM-TM-404, Sistemas de transmisión. Antenas. Volumen II, 2018.

ANEXO

El estudio del terreno realizado de la isla de Tenerife incluye diferentes ubicaciones, las cuales resultan interesantes por su localización (ya que pueden tener LOS con la isla de Gran Canaria y además están cerca de bases o acuartelamientos) o debido a que se encuentran en territorio militar. Como se ha explicado en el documento, el programa utilizado es airLink de Ubiquiti (<https://link.ui.com>) y las parámetros que se establecen son los mismos para todas las ubicaciones: antena Rocket M5, coordenadas de La Colorada en Gran Canaria, 3 metros de altura de la antena sobre el terreno, potencia de salida máxima de 27 dBm, ancho del canal de 20 MHz y ancho de haz de 3°.

- ACUARTELAMIENTO HOYA FRÍA: la ubicación junto a la costa de este acuartelamiento permite tener LOS entre ambas islas, pudiéndose producir el enlace al 100% de sus capacidades y a una distancia de 90 km.



Figura A. 1. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y acuartelamiento de Hoya Fría (Tenerife) utilizando una Rocket M5 con antena RD-5G-30

- **ACUARTELAMIENTO DE INGENIEROS DE LA CUESTA:** a pesar de que este acuartelamiento se ubica en la zona interior de la isla de Tenerife y rodeado de edificios, al encontrarse dentro de una ciudad, es posible establecer un enlace y con buenas capacidades.

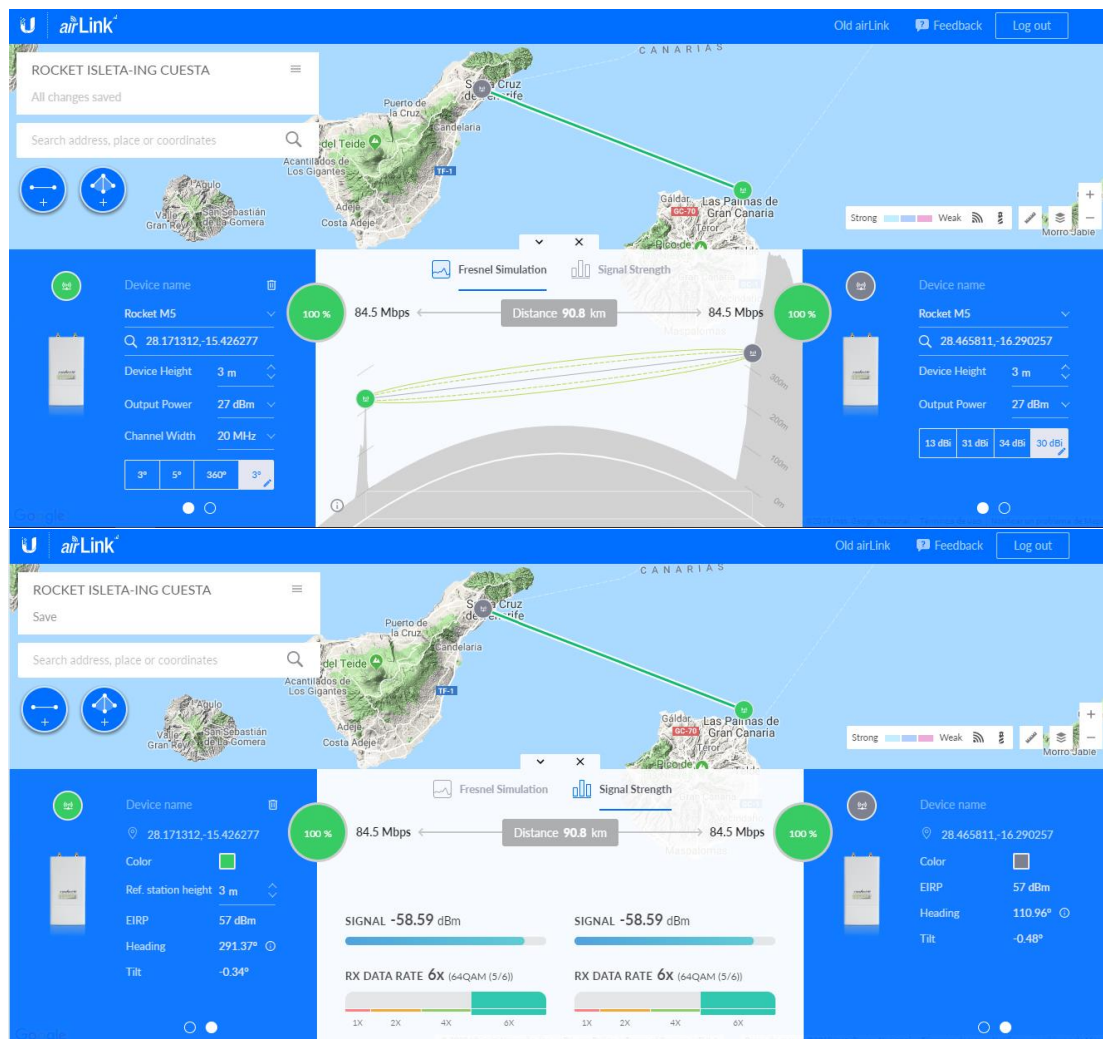


Figura A. 2. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y acuartelamiento de Ingenieros de la Cuesta (Tenerife) utilizando una Rocket M5 con antena RD-5G-30

- **LOS RODEOS:** esta ubicación no podría ser una opción debido a que el terreno no permite establecer enlace. La antena no puede moverse a un lugar cercano debido a que ya no se encontraría dentro de territorio militar, ni podría aumentarse la altura de la antena porque para que se produzca el enlace la antena tiene que estar a más de 50 metros sobre el terreno (como un edificio de 19 plantas), lo cual es inviable.

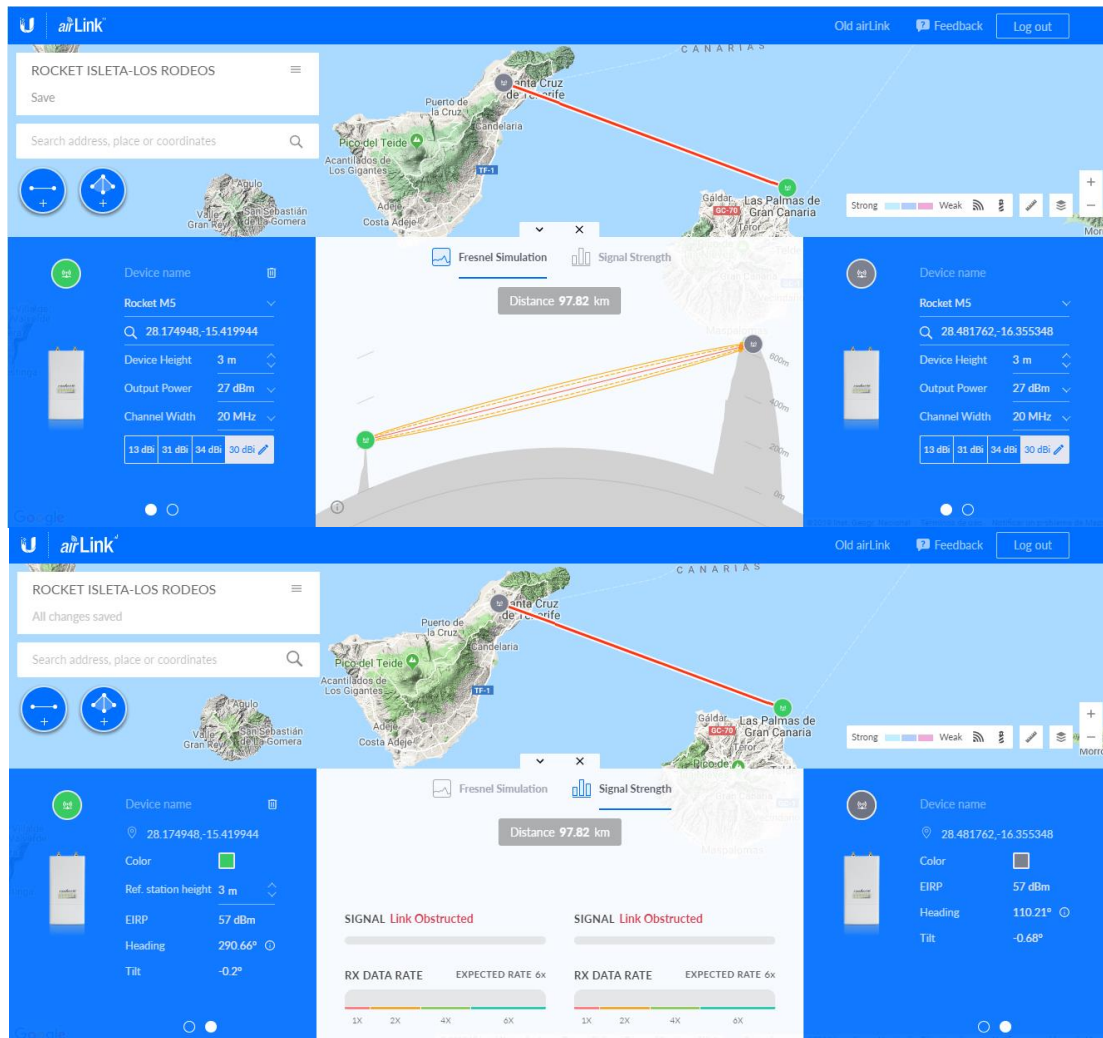


Figura A. 3. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y los Rodeos (Tenerife) utilizando una Rocket M5 con antena RD-5G-30

- CAMPO DE TIRO LAS RAÍCES: esta ubicación resulta interesante ya que no solo permite establecer un enlace entre las islas de Tenerife y Gran Canaria, sino que además, tiene también LOS con otras zonas militares de la isla como puede ser Los Rodeos o Las Raíces.

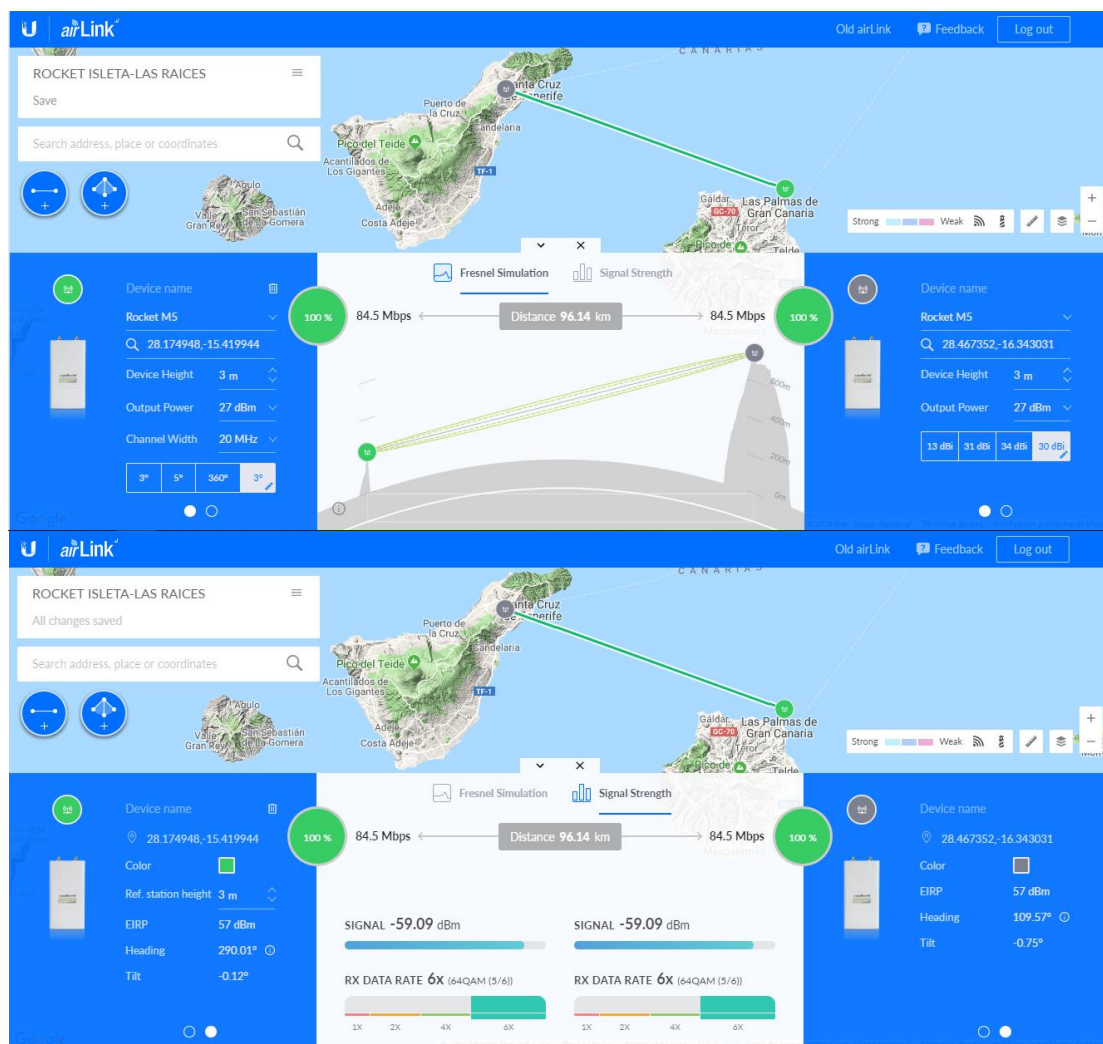


Figura A. 4. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y el campo de tiro Las Raíces (Tenerife) utilizando una Rocket M5 con antena RD-5G-30

- LAS CUMBRES – ROQUE DE LA GRIETA: este punto se encuentra a 2576 m. lo que provoca que al encontrarse en la zona más alta de la isla, no haya ningún problema para que exista LOS con Gran Canaria, a pesar de que la distancia sea la más grande de todas las ubicaciones estudiadas (aproximadamente 113 km.).

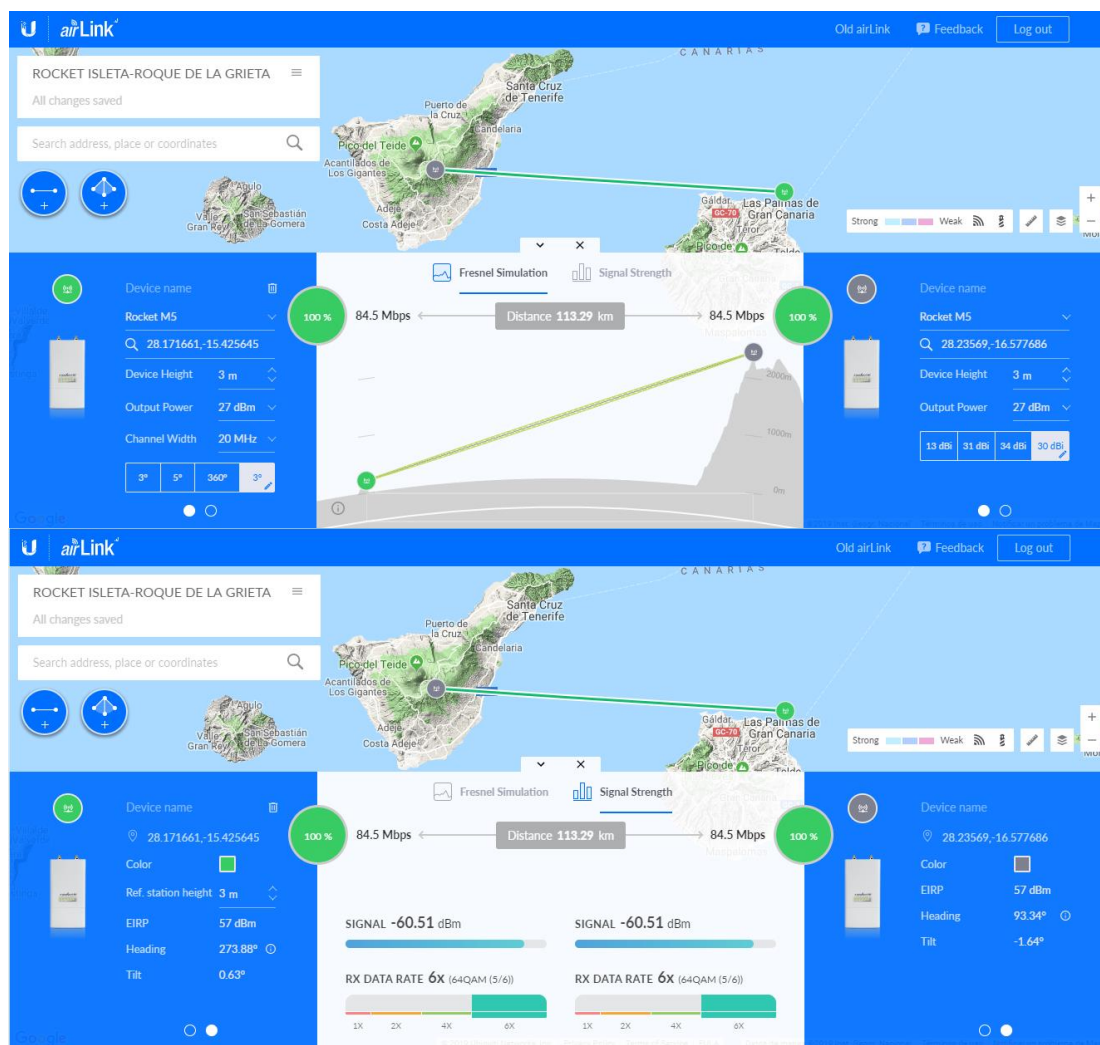


Figura A. 5. Características del enlace entre La Colorada (Gran Canaria) y Roque de la Grieta (Tenerife) utilizando una Rocket M5 con antena RD-5G-30